

ユニットテーマ提案書

1. ユニットテーマ

高出力パワーレーザーを用いた高エネルギー密度プラズマ科学および核融合エネルギー変換のアクティブ制御

2. 提案者（氏名・所属）

坂上仁志・NIFS, 尾崎哲・NIFS, 岩本晃史・NIFS, 千徳靖彦・阪大レーザー研, 藤岡慎介・阪大レーザー研, 城崎知至・広大院先進理工

3. テーマと研究内容の概要

まず、非線形かつ非平衡な複雑系であるレーザープラズマ相互作用の完全理解を考える。レーザーによる高エネルギー粒子生成およびそのエネルギー緩和過程の詳細を理解することは、高速点火レーザー核融合の加熱過程解明だけではなく、宇宙空間で生成される超高エネルギー粒子の起源として新たに考えられている航跡場加速機構の検証にも繋がる。次に、核融合における重要ではあるが十分に研究が進んでいない燃焼物理の総合的理解を考える。燃焼物理の要は、アルファ粒子のプラズマ中でのストッピング/エネルギー緩和であるが、その詳細は十分に理解されておらず、最近の実験結果は、従来モデルに比べて20%程度ストッピングしやすくなることを示している。この詳細研究により、核融合点火燃焼の閾値低減の可能性が期待されている。

更に、高繰り返しパワーレーザーの実現を目前に控え、実験結果として生み出される大量のデータを効率良く解析する手法が求められており、情報科学および統計科学に基づいたデータ駆動科学の重要性が高まっている。そこで、データ駆動科学の手法をこの分野にも適用し、各種シミュレーションコードの高精度化および種々の物理スケール則の導出に応用する。

一方、核融合により発生するエネルギーは、粒子の運動エネルギーとして取り出されるが、これを利用するためには、核融合により発生した高エネルギー粒子から最終的に利用する目的である熱、運動、電気、化学等への高効率エネルギー変換の研究が重要となる。そこで、エネルギー変換の体系として、まず、中間子のエネルギー（湯川力）が中性子やヘリウムの運動エネルギーならびに内部エネルギーに変換されて継続的な核燃焼を維持する核科学の研究課題を考え、その最適な燃焼条件について、シミュレーションにより詳細に探求し、実験により実証する。次に、高エネルギー粒子の運動エネルギーを熱エネルギーに変換するエネルギー変換制御工学として、粒子と材料の相対速度を調整して共鳴吸収や反応断面積をアクティブに制御する新しい手法の基礎原理を確立する。

4. 位置づけ

日本学術会議の総合工学委員会エネルギーと科学技術に関する分科会による提言「パワーレーザー技術と高エネルギー密度科学の量子的飛躍と産業育成（令和2年6月16日）」では、繰り返し・高出力の大型パワーレーザー施設を高エネルギー密度科学推進の中核拠点として設置し、この分野の量子的飛躍を実現すべきだと述べられており、本ユニットテーマは、学術的な重要性が示されているのみならず、既にコミュニティによる支持も得ている。

2ページ以内で記述し、10.5pt・行間1行を使用してください。青字の注意書きは削除してください。

一方、米国の国立点火施設 NIF における 1.8MJ レーザーを用いた最新の実験では、アルファ加熱による核融合反応の連鎖が起こり、核融合出力として 170kJ が観測され、核融合燃焼物理の研究が現実的なものになりつつある。また、国内ではレーザーダイオード励起セラミック材料を用いたビーム当たり 100J/100Hz のレーザーが実現できており、これをバンドル化して用いる 10kJ 級高繰り返しハイパワーレーザーの設計は完了している。このため、本ユニットテーマは、時宜も得ており、物理現象の解明から、それら現象の制御および応用までを包括しているので、研究の目標を常に明確にできると同時に集団的な実験体系から新たな物理現象の発見へと繋がる可能性がある。

5. 研究の方法

シミュレーションに必要なコンピュータは、各機関に設置されたコンピュータ並びに当研究所のプラズマシミュレータを想定している。実験のレーザー装置については、大阪大学レーザー科学研究所の激光 XII 号および LFEX を利用する。kJ 級ナノ秒レーザーと超高強度ピコ秒級レーザーを同時照射できるレーザー実験は、世界的に見ても大阪大学でしか実施できず、この装置を利用できることは、大きな国際的競争力を持っていることになる。

そして、今後稼働が期待される 10kJ 級高繰り返しレーザー施設の利用を考え、データ駆動型解析による炉心プラズマの最適化および核融合燃焼の理解を進展させ、NIF を利用した国際共同研究による核融合燃焼実験によりシミュレーション結果の外挿精度を上げて、核融合燃焼物理の更なる理解／検証を図る。同時に、そのレーザー施設を中性子源として利用しながら交換可能な炉心を用意することで必要なエネルギー変換研究や核変換研究を実施する。

また、イメージングプレートに代わるフラットパネルセンサなどを考慮に入れた高繰り返し実験に対応する高エネルギー電子・イオンエネルギースペクトル分析器を新たに導入する。そして、低温工学試験には、当研究所の液体・固体水素試験装置や JAXA 能代ロケット実験場を利用する。

6. 自己評価

1) 未来志向であること

近年、パワーレーザーの新しい質的変革である高繰り返し時代の時代を迎えつつあり、更なる発展と研究手法の一新が求められているが、それらを見据えた研究課題になっている。

2) 目標を具体的に示していること

研究内容の概要で記述した通り、それぞれの課題について、具体的な目標を定めている。

3) 10年後に学术界に輝くテーマに育つこと

レーザー核融合プラズマだけではなく宇宙プラズマ中における高エネルギー粒子が新たな拓く物理学に発展し、核融合燃焼物理学の確立および現実的な核融合炉工学の端緒になると考えられる。そして、長期的には、核融合燃焼を理解する物理研究から燃焼を制御する工学研究までの一貫した学術体系となることが期待できる。

4) 多様な「個人のテーマ」を包摂できること

極限状態である高エネルギー密度プラズマを生み出せる高出力パワーレーザーは、レーザー核融合科学のみならずレーザー宇宙物理学、超高压物性科学、レーザー量子ビーム科学、量子真空物理学等の様々な研究分野を開拓しており、核融合エネルギー変換工学は、核融合燃焼物理学、核融合炉工学等の幅広い研究課題を内包している。